

## Плазменное напыление покрытий

Студент гр. 10401115 Иванов А.И.  
Научный руководитель Вейник В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Плазменное напыление – один из видов газотермического напыления покрытий. При этом способе нанесения покрытий напыляемый материал разогревается до жидкого состояния и переносится на обрабатываемую поверхность при помощи потока плазмы. Плазма считается "четвертым" особым состоянием вещества. Техническая плазма - ионизированный газ, в котором объемные плотности положительных и отрицательных электрических зарядов, образующих плазму заряженных частиц, практически одинаковы (условие квазинейтральности) и доля этих частиц сравнительно велика. Для напыления покрытий используется холодная плазма. Её температура порядка  $10^5$  К. Плазмообразующими газами служат азот, гелий, аргон, водород, их смеси и смесь воздуха с метаном, пропаном или бутаном.

Для плазменного напыления используют проволоку, в том числе порошкового типа, порошки из черных и цветных металлов, оксиды металлов, карбиды металлов и их композиции с никелем и кобальтом, сплавы металлов, композиционные материалы (никель-графит, никель-алюминий и др.) и механические смеси металлов, сплавов и карбидов. Регулирование режима напыления позволяет наносить как тугоплавкие материалы, так и легкоплавкие. Основой для плазменного напыления могут служить металлы и неметаллы. Для нанесения покрытий на небольшие поверхности применяется микроплазменный способ напыления, который позволяет сэкономить потери напыляемого материала (ширина напыления 1-3 мм).

В данное время выделяют три основных способа плазменного напыления покрытий: атмосферное плазменное напыление, вакуумное плазменное напыление и плазменное напыление в контролируемой атмосфере (напыление плазмой в камере, заполненной инертным газом, что позволяет изолировать плазменную струю от окружающей атмосферы).

Сам процесс плазменного напыления включает три основных этапа:

### 1) Подготовка поверхности:

Предварительные размеры поверхностей под напыление должны быть определены с учетом толщины напыления и припуска на последующую механическую обработку. Переходы поверхностей должны быть плавными, без острых углов, во избежание отслаивания покрытия. Детали перед напылением должны быть тщательно очищены и обезжирены. Ремонтные детали, имеющие замасленные пазы или каналы, следует нагреть в печи при температуре 200-340 °С в течение 2-3 часов для выпаривания масла.

Далее производится активация поверхности. Её производят при помощи обдува детали сжатым воздухом с абразивом или нарезанием рваной резьбы. Шероховатость поверхности под плазменное напыление должна составлять 10-60 Rz, поверхность должна быть матовой. Поверхности, не подлежащие абразивной обработке, защищают экранами. Тонкие детали закрепляют в приспособлениях с целью предотвращения их коробления во время обработки.

### 2) Напыление и дополнительная обработка покрытия для улучшения свойств:

Плазменный процесс состоит из трёх основных стадий:

1. генерация плазменной струи;
2. ввод распыляемого материала в плазменную струю, его нагрев и ускорение;
3. взаимодействие плазменной струи и расплавленных частиц с основанием.

Для плазменного напыления следует применять порошки одной фракции, форма частиц — сферическая. Оптимальный размер частиц для металлов составляет около 100 мкм, а для керамики — 50-70 мкм. Если порошки хранились в негерметичной таре, их нужно прокалить при температуре 120-130 °С в течение 1,5-2 ч в сушильном шкафу. Те части детали,

которые не подвергаются напылению, защищают экранами из асбеста или металла, или обмазками. Предварительный подогрев детали перед напылением осуществляют плазмотроном до температуры 150-180 °С. Общую толщину покрытия набирают несколькими циклами с перекрытием полос напыления на 1/3 диаметра пятна напыления. После напыления деталь снимают с плазмотрона, удаляют защитные экраны и охлаждают до комнатной температуры. Технологические режимы плазменного напыления определяются: видом и дисперсностью материала, током плазменной струи и его напряжением, видом и расходом плазмообразующего газа, диаметром сопла плазменной горелки и расстоянием от сопла до напыляемой поверхности. В таблице 1 приведены некоторые технологические характеристики для различных типов напыляемых материалов в соответствии с ГОСТ 28076-89.

Таблица 1 - Технологические характеристики для различных типов напыляемых материалов

Тип напыляемого материала	Режимы источника питания				Дистанция напыления, мм	Расход порошка, кг/ч	Коэффициент использования порошка, %
	Аргон		Азот				
	Напр., В	Сила сварн. тока, А	Напр., В	Сила сварн. тока, А			
Самофлюсующиеся никелевые сплавы	65-75	450-460	75-85	450-460	140-160	8,0-10,0	50-55
Сплавы Ni-Al, Ni-Ti	65-75	430-435	80-85	430-435	140-155	7,0-9,0	45-50
Бронза	60-70	490-500	74-80	490-500	140-150	7,5-9,0	55-60
Алюминий	60-65	490-500	74-80	490-500	140-150	8,0-9,0	60-65

### 3) Механическая обработка для достижения чистовых размеров.

Чистовые размеры деталей после плазменного напыления получают точением и шлифованием с охлаждением водными растворами и водно-масляными эмульсиями.

Уникальность метода плазменного напыления заключается в высокой температуре плазменной струи и высокой скорости движения частиц в струе. Нагрев же напыляемой поверхности невелик и составляет не более 200 °С. Производительность плазменного напыления составляет 3-20 кг/ч для плазмотронных установок мощностью 30-40 кВт и 50-80 кг/ч для оборудования мощностью 150-200 кВт. Прочность сцепления покрытия с поверхностью детали в среднем равна 10-55 МПа на отрыв, а некоторых случаях - до 120 МПа. Пористость покрытия находится в пределах 10-15%. Толщина покрытия обычно не более 1 мм, так как при ее увеличении в напыляемом слое возникают напряжения, стремящиеся отделить его от поверхности детали.

Плазменное напыление покрытий применяется в таких областях, как машиностроение, ракетная, авиационная и космическая техника, энергетика, металлургия, химия, нефтяная и угольная промышленность, приборостроение, строительство, ремонт машин и восстановление деталей. Для реализации технологии упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей плазменным напылением в условиях промышленного производства необходим участок, оснащенный специальным комплексом технологического оборудования.